

УДК 621.357

УСЛОВИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА АБРАЗИВНОЙ АКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ ПОТОКОМ ЭЛЕКТРОЛИТА-СУСПЕНЗИИ

А.К. НОВИКОВ

(Витебский государственный технологический университет)

На основе анализа научных публикаций выявлено, что в теории формирования электрохимических композиционных материалов недостаточно исследовано влияние гидродинамических параметров потока электролита-суспензии на процесс депассивации поверхности катода. Предложено при формировании композиционных электрохимических покрытий использовать схему осаждения с абразивной очисткой поверхности потоком керамических частиц, взвешенных в электролите и воздействующих на электродную поверхность с некоторой силой F_N . Для вывода условия абразивной активации электродной поверхности потоком электролита-суспензии использованы положения теории упругости металлов. Получена зависимость для определения граничного значения скорости электролита-суспензии в процессе абразивной активации поверхности электрода, учитывающая параметры материала электрода, электролита-суспензии, керамических частиц и характер их взаимодействия.

Введение. При электроосаждении металлопокрытий рабочий интервал плотности тока ограничивается предельной скоростью доставки ионов осаждаемых металлов к катоду, которая в условиях стационарного электролиза обычно ниже скорости разряда ионов на катоде, поэтому концентрация ионов вблизи электродов может значительно отличаться от концентрации их во всем электролите.

Для ведения осаждения металла при высоких плотностях тока требуется обеспечить ускоренную подачу электролита к катоду. Интенсификацию движения катионов к детали осуществляют принудительным перемешиванием или прокачкой электролита. Однако это не решает проблему пассивации поверхности, в результате которой разряд ионов на катоде значительно затрудняется. Удаление пассивирующей пленки обычно производят механическим способом с использованием движущихся лент или щеток. Задача активации поверхности может быть решена также путем использования схемы абразивной очистки поверхности потоком керамических частиц, взвешенных в электролите и участвующих в процессе формирования композиционного покрытия.

Цель работы – вывод математической зависимости, определяющей условия осуществления процесса абразивной активации катодной и анодной поверхностей керамическими частицами, движущимися в потоке электролита-суспензии в процессах формирования композиционных электрохимических покрытий.

Исследовательская часть. Проведенные теоретические исследования процессов нанесения композиционных электрохимических покрытий (КЭП) обходят вопрос оценки эффективности активации потоком частиц порошка и определения скоростных параметров электролита-суспензии, при которых реализуется очистка поверхности катода.

Так, в работе [1] рассмотрена математическая модель перевода частицы во взвешенное состояние и определение требуемой для этого критической скорости $\vartheta_{кр}$. В модели учитывается внешняя подъемная сила F_n , архимедова (влекущая) сила F_g , сила тяжести F_g и сила трения $F_{тр}$. Для перевода частиц во взвешенное состояние, по мнению авторов, скорость потока электролита-суспензии должна удовлетворять следующему условию:

$$\vartheta_n > \vartheta_{кр} = \sqrt{\frac{2d(\rho_c - \rho)}{3A_0\rho}}, \quad (1)$$

где ρ_c – плотность частиц; ρ – плотность электролита; d – диаметр частицы; A_0 – коэффициент сопротивления частицы подъему.

В этой же работе опосредованно затронут вопрос моделирования процесса абразивной активации (очистки) поверхности катода потоком движущегося электролита-суспензии. Авторы предложили формулу для расчета глубины износа поверхности электрода:

$$h_u = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m\vartheta_n^2}{S_n\chi} \mu, \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения скольжения; S_n – площадь истираемой поверхности; m – масса частицы; χ – объемная масса истираемой поверхности.

Однако процесс взаимодействия движущейся частицы с электродной поверхностью авторы рассматривают как негативный фактор, приводящий к удалению слоя покрытия, т.е. не вводятся ограничения на усилие абразивной активации.

Большинство теоретических моделей движения частиц в электролите рассматривают движение частицы как условие образования композиционного материала и используют для решения задач прогнозирования фазового состава покрытия. В то же время движение потока электролита-суспензии с высокой скоростью позволяет рассматривать частицу как абразивный активатор, воздействующий на поверхность катода.

Таким образом, актуальной является **разработка модели абразивной активации поверхности покрытия потоком электролита-суспензии**, в которой будет отражено воздействие абразивной частицы на электродную поверхность.

Движение частиц порошка через зону контакта можно назвать условно свободным, поскольку в некоторый момент времени движение частицы ограничено только стенками детали, а движение по этому участку порошковой частицы происходит за счет действия внешней силы, возникающей при принудительной прокачке электролита.

Определим диапазон режимов абразивной активации поверхностного слоя формируемого покрытия при проточном осаждении покрытия из электролита-суспензии. Научная идея, на основании которой разработана данная модель, заключается в том, что существуют такие пределы усилий, при которых будет осуществляться активация поверхностного слоя, но не будет происходить удаление покрытия, т.е. будет задействован только механизм упругой деформации поверхности.

При разработке математической модели принимались следующие допущения: все частицы имеют сферическую форму; движение жидкости рассматривается в цилиндрической системе координат в установившемся режиме с некоторой скоростью $V_{ж}$, параллельной оси z ; скорость жидкости $V_{ж}$ и скорость частицы $V_{ч}$ на границе раздела сред равны.

Так как относительная скорость частицы в движущейся среде равна нулю, то сила сопротивления среды движению частицы F_C также равна нулю. Архимедова сила вследствие ее малой величины при наличии внешней силы F_B в расчет не принимается.

Таким образом, на частицу действует сила F_N :

$$F_N = F_T + F_B, \quad (3)$$

где F_T – сила тяжести:

$$F_T = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_c g; \quad (4)$$

здесь R – радиус частицы; ρ_c – плотность материала частицы; g – ускорение свободного падения; F_B – внешняя сила, действующая со стороны жидкости на частицу [2]:

$$F_B = 2,5 \pi \mu R^2 \omega_{ж}, \quad (5)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости; $\omega_{ж}$ – угловая скорость жидкости.

Тогда сила F_N определим из выражения:

$$F_N = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_c g + 2,5 \pi \mu R^2 \omega_{ж}. \quad (6)$$

Так как радиус частицы R , ее плотность ρ_c и коэффициент динамической вязкости жидкости μ являются константами для определенного вида электролита-суспензии, можно сделать следующие замены:

$$n = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_c g; \quad (7)$$

$$k = 2,5 \pi \mu R^2. \quad (8)$$

Тогда уравнение, определяющее значение силы F_N , примет вид:

$$F_N = n + k \omega_{ж}. \quad (9)$$

По условиям обработки на участке l_0 детали требуется обеспечить процесс абразивной активации поверхности, т.е. должен быть удален пассивирующий слой толщиной h_2 , а поверхностный слой металла толщиной h_1 подвергнут упругому деформированию для активации центров кристаллизации. Общая толщина поверхностного слоя, взаимодействующая с частицей порошка, равна $h = h_1 + h_2$.

Таким образом, частица порошка в зоне контактирования с поверхностью внедряется в поверхностный слой на глубину h под действием силы F_N . На порошковую частицу на поверхности детали будет действовать приведенная нормальная сила F_Q и сила трения F_F . На рисунке указанные силы приложены в некоторой точке в середине дуги контактирования частицы с поверхностным слоем покрытия.

Известно [3], что процесс абразивной активации в зоне упругого деформирования осуществляется при выполнении условия:

$$\frac{h_1}{R} \leq 2,4 \left(\frac{\sigma_s}{E} \right)^2, \quad (10)$$

где σ_s – предел текучести металла; E – модуль Юнга.

Величина h_1 внедрения частицы порошка в покрытие при гидродинамическом нагружении связана с силой F_Q равенством:

$$h_1 = \frac{F_{Qr} \sqrt{1+f^2}}{\pi R \sigma_s}, \quad (11)$$

где f – коэффициент трения порошка по материалу электрода.

Схема сил, действующих на частицу, приведена на рисунке.

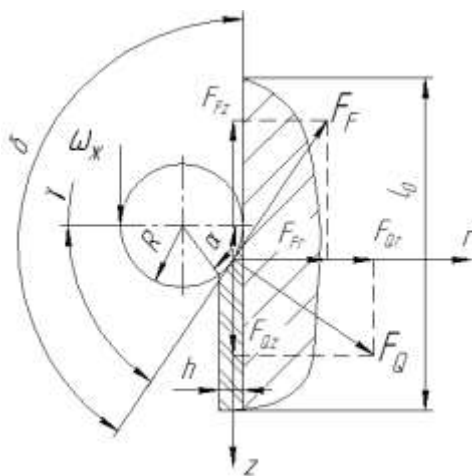


Схема сил, действующих на частицу при абразивной активации

Таким образом, сравнивая уравнения (10) и (11), получаем условие, при котором осуществляется процесс абразивной очистки поверхности:

$$\frac{F_{Qr} \sqrt{1+f^2}}{\pi R^2 \sigma_s} \leq 2,4 \left(\frac{\sigma_s}{E} \right)^2. \quad (12)$$

Известно [3], что соотношение сил в процесс абразивной активации в зоне упругого деформирования определяется из выражения:

$$F_{Qz} = \frac{F_{Qr}}{F'}, \quad (13)$$

где F' – площадь поперечного сечения деформируемого слоя.

Считая, что в поперечном сечении контакт частицы с поверхностью детали представляет собой круговой сегмент, получаем:

$$F' = \frac{R^2}{2}(\alpha - \sin \alpha), \quad (14)$$

где α – угол контакта частицы порошка с покрытием (включая пассивирующий слой), рад.

Учитывая, что $F_{Qz} = F_N$, и подставив правую часть равенства (14) в равенство (13), получаем:

$$F_N \frac{R^2}{2}(\alpha - \sin \alpha) = F_{Qz}, \quad (15)$$

следовательно, условие (12) запишется в виде:

$$\frac{F_N R^2 (\alpha - \sin \alpha) \sqrt{1 + f^2}}{2\pi R^2 \sigma_s} \leq 2,4 \left(\frac{\sigma_s}{E} \right)^2. \quad (16)$$

Сокращая в левой части последнего неравенства на R^2 , получаем:

$$\frac{F_N (\alpha - \sin \alpha) \sqrt{1 + f^2}}{2\pi \sigma_s} \leq 2,4 \left(\frac{\sigma_s}{E} \right)^2. \quad (17)$$

Произведя преобразования, получаем условие реализации процесса абразивной активации на участке l_0 детали:

$$F_N \leq \frac{4,8\pi\sigma_s^3}{(\alpha - \sin \alpha)E^2\sqrt{1 + f^2}}. \quad (18)$$

Используя уравнение (9), выразим неравенство (18) через угловую скорость электролита $\omega_{ж}$:

$$n + k\omega_{ж} \leq \frac{4,8\pi\sigma_s^3}{(\alpha - \sin \alpha)E^2\sqrt{1 + f^2}}; \quad (19)$$

$$\omega_{ж} \leq \frac{4,8\pi\sigma_s^3}{(\alpha - \sin \alpha)kE^2\sqrt{1 + f^2}} - \frac{n}{k}. \quad (20)$$

Зависимость (20) учитывает параметры как компонентов электролита-суспензии, так и материала матрицы. Величина угла α может быть определена исходя из толщины активируемого слоя покрытия и радиуса частицы. Данное неравенство (20) позволяет определить верхнюю границу скорости движения электролита-суспензии в приэлектродной области, при которой осуществляется активация электрода без снятия слоя материала.

Заключение. Воздействие частиц порошка из потока электролита-суспензии на поверхностный слой покрытия с усилием F_N способствует удалению пассивирующей пленки, препятствующей росту электрохимического покрытия, но не обеспечивает включение в покрытие частиц порошка по механизму механического закрепления. Поэтому формирование КЭП необходимо вести с чередованием режима активации поверхностного слоя, при ускоренном осаждении материала матрицы и режима внедрения частиц порошка в покрытие, проводимого при минимальной скорости движения электролита-суспензии, либо методом стационарного электролиза из неподвижного электролита при седиментации частиц на поверхность катода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молчанов, В.Ф. Комбинированные электролитические покрытия / В.Ф. Молчанов, Ф.А. Аюпов, В.А. Вандышев. – М.: Техника, 1976. – 176 с.
2. Фортъе, А. Механика суспензий / А. Фортъе; под ред. З.П. Шульмана. – М.: Мир, 1971. – 264 с.
3. Ящерицын, П.И. Финишная обработка деталей уплотненным потоком свободного абразива / П.И. Ящерицын, А.Н. Мартынов, А.Д. Гридин. – Минск: Наука и техника, 1978. – 224 с.

Поступила 29.06.2007